



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30
www.inpi.fr

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

<p style="text-align: right;">Réservé à l'INPI</p> <p>DATE DE REMISE DES PIÈCES 14 SEP. 1999</p> <p>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL 9911689</p> <p>DÉPARTEMENT DE DÉPÔT</p> <p>DATE DE DÉPÔT 14 SEP. 1999</p> <p style="text-align: right;">I. N. P. I. RENNES</p>		<p>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</p> <p>Patrice VIDON Cabinet Patrice VIDON Immeuble Germanium 80 avenue des Buttes de Coësmes 35700 RENNES</p>									
<p>2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> brevet d'invention <input type="checkbox"/> demande divisionnaire</p> <p><input type="checkbox"/> certificat d'utilité <input type="checkbox"/> transformation d'une demande de brevet européen</p> <p style="text-align: center;">demande initiale</p> <p><input type="checkbox"/> brevet d'invention <input type="checkbox"/> certificat d'utilité n°</p> <p>Établissement du rapport de recherche <input checked="" type="checkbox"/> différé <input type="checkbox"/> immédiat</p> <p>Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non</p> <p>Titre de l'invention (200 caractères maximum)</p> <p style="text-align: center;">Procédé d'égalisation dans des récepteurs utilisant une combinaison des techniques de modulations à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes.</p>		<p>n° du pouvoir permanent 5888</p> <p>références du correspondant 5888</p> <p>téléphone 02.99.38.231</p>									
<p>3 DEMANDEUR (S) n° SIREN</p> <p>Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination</p> <p style="text-align: center;">Institut National des Sciences Appliquées de Rennes (INSA)</p> <p>Nationalité (s) Française</p> <p>Adresse (s) complète (s)</p> <p style="text-align: center;">20 avenue des Buttes de Coësmes 35700 RENNES</p>		<p>code APE-NAF</p> <p>Forme juridique</p> <p style="text-align: center;">Etablissement de droit Public</p> <p>Pays</p> <p style="text-align: center;">FRANCE</p>									
<p>4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non</p> <p>5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES <input type="checkbox"/> requise pour la 1ère fois <input type="checkbox"/> requise antérieurement au dépôt ; joindre copie de la décision d'admission</p>											
<p>6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>pays d'origine</th> <th>numéro</th> <th>date de dépôt</th> <th>nature de la demande</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>				pays d'origine	numéro	date de dépôt	nature de la demande				
pays d'origine	numéro	date de dépôt	nature de la demande								
<p>7 DIVISIONS antérieures à la présente demande</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>n°</th> <th>date</th> <th>n°</th> <th>date</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>				n°	date	n°	date				
n°	date	n°	date								
<p>8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (nom et qualité du signataire)</p> <p style="text-align: center;">P. VIDON (CPI 92-1250)</p>		<p>SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION</p> <p>SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI</p>									

**PROCEDE D'EGALISATION DANS DES RECEPTEURS UTILISANT
UNE COMBINAISON DES TECHNIQUES DE MODULATIONS A
5 PORTEUSES MULTIPLES ET A ACCES MULTIPLE PAR
REPARTITION DE CODES.**

1. Domaine général de l'invention

Le domaine de l'invention est celui de la transmission, et plus précisément
de la réception, de signaux numériques multiporteuses. L'invention concerne es-
10 sentiellement l'égalisation, ou la détection, dans des récepteurs de signaux repo-
sant sur une combinaison des techniques de modulation à porteuses multiples et à
accès multiple par répartition de codes.

Le développement et la mise au point de techniques permettant le transfert
de données multimédia à haut débit pour un grand nombre d'utilisateurs simul-
15 tanés est primordiale pour les générations futures de communications hertziennes.
Le but recherché est de développer de nouvelles techniques de transmissions hert-
ziennes permettant de satisfaire toujours mieux aux contraintes d'efficacité spec-
trale liées à la pénurie du spectre et au nombre croissant d'utilisateurs.

Une approche connue consiste à rechercher une combinaison optimale des
20 techniques de modulations à porteuses multiples à grande efficacité spectrale (de
type OFDM) et des techniques d'Accès Multiples par Répartition de Codes (de
type AMRC). Ces nouvelles techniques pourront s'appliquer aussi bien aux syst-
èmes de radiocommunications mobiles (de type UMTS et post UMTS) qu'aux
systèmes de communications à l'intérieur des bâtiments pour en augmenter la ro-
25 bustesse et la capacité de transmission.

2. Etat de l'art

2.1 Contexte scientifique

Depuis 1993, quelques contributions proposant une combinaison des techni-
ques de modulations à porteuses multiples et à étalement de spectre ont été pu-
30 bliées par quelques équipes internationales [1]. Ainsi, il existe trois familles de

systèmes de transmission connues à ce jour combinant les techniques OFDM et AMRC : l'AMRC multiporteuses ou MC-CDMA (Multi-Carrier CDMA), l'AMRC multipilotes ou MT-CDMA (Multi-Tone CDMA) et l'AMRC multiporteuses à séquence directe ou MC-DS-CDMA (Multi-Carrier Direct-Sequence CDMA). Elles se distinguent par la manière dont elles combinent les fonctions OFDM et AMRC, par leur technique d'étalement ou d'accès multiples et par leur répartition fréquentielle.

L'invention proposée s'applique notamment, mais non exclusivement, à la première de ces familles, l'AMRC multiporteuses ou MC-CDMA.

2.2 Description d'un système MC-CDMA

Dans le modulateur MC-CDMA représenté sur la figure 1, et connu en lui-même, le flux de données est tout d'abord étalé dans le domaine fréquentiel en utilisant un code d'étalement, puis transmis sur les différentes sous-porteuses du multiplex OFDM. Une fraction de chaque donnée d'origine, correspondant à un chip du code d'étalement de longueur L_c , est ainsi transmise par chacune des N_p sous-porteuses.

Ainsi, chaque symbole x_j^n affecté à l'utilisateur j (avec $j = 1, \dots, N_u$) et transmis durant l'intervalle n , est multiplié par son code d'étalement spécifique de type Walsh-Hadamard $C_j = [c_j^1, c_j^2, \dots, c_j^{L_c}]^T$ de longueur L_c , où $[.]^T$ signifie vecteur transposé. L_c est le facteur d'étalement et est égal au nombre maximal d'utilisateurs transmis simultanément. Le vecteur des symboles transmis durant le $n^{ème}$ symbole OFDM par tous les utilisateurs peut s'écrire $X^n = [x_1^n, x_2^n, \dots, x_p^n, \dots, x_{L_c}^n]^T$ avec $x_j^n = 0$ quand l'utilisateur j n'est pas actif. La matrice des codes C est alors égale à :

$$C = \begin{bmatrix} c_1^1 & c_2^1 & \dots & c_{L_c}^1 \\ c_1^2 & c_2^2 & \dots & c_{L_c}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_1^{L_c} & c_2^{L_c} & \dots & c_{L_c}^{L_c} \end{bmatrix} \quad (1)$$

où le $j^{ème}$ vecteur colonne de C correspond au code d'étalement C_j de l'utilisateur j .

Dans le cas d'une liaison descendante où les différents signaux s'adressant aux différents utilisateurs sont émis de façon synchrone, les codes utilisés sont généralement choisis orthogonaux, ce qui permet d'obtenir en réception une meilleure réjection des interférences entre utilisateurs.

Ainsi, avec des codes de Walsh-Hadamard, le nombre maximal d'utilisateurs est égal au nombre de chips par code. Généralement, le nombre L_c de chips du code d'étalement est choisi égal au nombre N_p de sous-porteuses mais des variantes sont possibles pour mieux adapter le signal au canal.

2.3 Les techniques de détection

2.3.1 Les techniques "traditionnelles" de détection mono-utilisateurs

Dans un récepteur MC-CDMA, le désétalement est réalisé dans le domaine fréquentiel après l'opération de Transformée de Fourier Directe (figure 1). L'utilisation de codes orthogonaux, tels que les codes de Walsh-Hadamard dans le cas d'un système synchrone, garantit dans un canal parfait l'absence d'interférences d'accès multiple. En revanche, lors d'une transmission dans un canal sélectif en fréquence, l'orthogonalité entre les codes est détruite ce qui crée une interférence entre utilisateurs.

Dans l'hypothèse où la durée de l'intervalle de garde est plus longue que l'étalement de la réponse impulsionnelle du canal, et que celui-ci varie lentement par rapport à la durée du symbole, l'effet du canal sur la $k^{\text{ème}}$ sous-porteuse peut être approximé sur toute la durée symbole par $h_k = \rho_k e^{i\theta_k}$. Dans ce cas, la matrice du canal est diagonale et égale à :

$$H = \begin{bmatrix} h_1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & h_2 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & h_{N_p} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$N = [n_1, n_2, \dots, n_{N_p}]^T$ est le vecteur représentant les termes de bruit avec n_k représentant le terme de bruit affectant la sous-porteuse k et de variance donnée par $\sigma_N^2 = E[|n_k|^2]$, $k = 1, \dots, N_p$. Le vecteur reçu est alors :

$$R = [r_1, r_2, \dots, r_{N_p}]^T = H.C.X + N \quad (3)$$

La matrice G de dimension $N_p \times N_p$ est la matrice des coefficients d'égalisation.

Les techniques de détection mono-utilisateur consistent à détecter le signal utile sans prendre en compte l'interférence entre utilisateurs. Après l'opération de Transformée de Fourier Directe, le signal reçu est égalisé dans le domaine fréquentiel en multipliant chaque symbole reçu par un coefficient g_k propre à chaque sous-porteuse, dans le but de compenser l'atténuation ρ_k et le déphasage θ_k introduits par le canal à la fréquence considérée.

Les différentes méthodes de détection sont les suivantes (liste non exhaustive) :

- Maximum Ratio Combining (MRC) : la méthode MRC est optimale vis à vis du taux d'erreurs dans le cas où un seul utilisateur est actif. Elle consiste à multiplier chaque symbole par la réponse complexe conjuguée du canal :

$$g_k = h_k^* \quad (4)$$

- Equal Gain Combining (EGC) : la technique de détection EGC corrige uniquement la distorsion de phase du canal :

$$g_k = h_k^* / |h_k| \quad (5)$$

- Orthogonality Restoring Combining (ORC) ou Zero Forcing (ZF) : la technique ORC permet d'éliminer intégralement l'interférence entre utilisateurs en restituant l'orthogonalité entre les différents codes d'étalement. Dans ce cas, les coefficients sont égaux à :

$$g_k = 1/h_k \quad (6)$$

Cependant, le principal inconvénient de cette méthode est que, pour les faibles amplitudes de h_k , la multiplication par une fonction inverse du canal se traduit par une forte amplification du bruit, ce qui dégrade rapidement le taux d'erreurs.

- Controlled equalization (CE) ou Threshold ORC (TORC) : la technique CE consiste à multiplier le signal reçu par la fonction inverse du canal uniquement lorsque le module $|H_k|$ de la réponse fréquentielle du canal pour la porteuse considérée dépasse un certain seuil. Une amélioration de ce procédé peut être obtenue en appliquant l'EGC pour les porteuses ayant été fortement atténuées, ce qui permet de compenser la distorsion de phase du canal pour les sous-porteuses considérées.

2.3.2 La technique classique de détection selon le critère du minimum de l'Erreur Quadratique Moyenne (Minimum Mean Square Error ou MMSE)

L'égalisation classiquement proposée en MC-CDMA selon le critère MMSE a pour but de minimiser indépendamment sur chaque porteuse k la valeur quadratique moyenne de l'erreur ε_k entre le signal transmis s_k et son estimation $\hat{s}_k = g_k \cdot r_k$ générée en sortie de l'égaliseur :

$$J = E\{|\varepsilon_k|^2\} = E\{|s_k - g_k r_k|^2\} \quad (7)$$

Lorsque le nombre d'utilisateurs est égal à la longueur L_c du code, il en résulte que les coefficients de l'égaliseur selon le critère de la minimisation de l'erreur quadratique moyenne sont égaux à [2] :

$$g_k = \frac{h_k^*}{|h_k|^2 + 1/\gamma_k} \quad (8)$$

où γ_k est le rapport signal à bruit pour la sous-porteuse k .

Lorsque le nombre d'utilisateurs N_u est inférieur à la longueur L_c du code, les coefficients de l'égaliseur selon le critère de la minimisation de l'erreur quadratique moyenne sont égaux à [2] :

$$g_k = \frac{h_k^*}{|h_k|^2 + \frac{N_p}{N_u} \cdot \frac{1}{\gamma_x}} \quad (9)$$

où γ_x est le rapport signal à bruit du symbole transmis x .

Pour les faibles valeurs de $|h_k|$, le coefficient d'égalisation est faible, ce qui évite une amplification excessive du bruit. En revanche, pour les fortes valeurs de $|h_k|$, le facteur de correction est proportionnel à l'inverse $1/|h_k|$ de la réponse du canal, dans le but de restituer complètement l'orthogonalité entre les utilisateurs.

De la même façon que dans le cas des autres techniques de détection, la fonction d'égalisation est donc effectuée sur chaque sous-porteuse indépendamment en multipliant dans le domaine fréquentiel chacun des N_p symboles générés en sortie de la FFT par un seul coefficient g_k propre à chaque sous-porteuse.

3. Objectifs de l'invention

L'invention a notamment pour objectif de proposer une nouvelle technique d'égalisation, ou de détection, qui soit plus efficace que les techniques connues présentées ci-dessus, en particulier lorsque le système ne fonctionne pas à pleine charge.

4. Présentation de l'invention

Cet objectif, ainsi que d'autres qui apparaîtront plus clairement par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de réception d'un signal mettant en œuvre une modulation à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes, du type comprenant une étape de démodulation par application d'une transformation mathématique du domaine temporel vers le domaine fréquentiel, une étape d'égalisation (ou de détection) du signal transformé et une étape de désétalement du signal égalisé.

Selon l'invention, ladite étape d'égalisation tient compte, pour chacune des composantes dudit signal transformé, des perturbations affectant la porteuse portant ladite composante et au moins une autre desdites porteuses.

Ainsi, l'égalisation est effectuée selon une approche tout à fait différente des techniques connues, qui reposent simplement sur l'application d'un unique coefficient multiplicateur sur chaque composante. Selon l'invention, on tient compte de l'ensemble des perturbations du canal de transmission, ou à tout le moins des perturbations dues à certaines des porteuses (classiquement les voisines de celle considérée).

On vérifie que cette technique permet d'obtenir de meilleurs résultats, notamment lorsque le système ne fonctionne pas à pleine charge.

De façon avantageuse, ladite étape d'égalisation met en œuvre une matrice d'égalisation portant des coefficients d'égalisation représentatifs du canal de transmission, au moins certains des coefficients autres que les coefficients de la diagonale de la matrice étant parfois non nuls.

Il est ainsi aisé de mettre en œuvre la technique de l'invention, dans les récepteurs.

Avantageusement, les coefficients ladite matrice de pondération sont déterminés selon la technique de filtrage de Wiener.

Lorsque le procédé de réception met en œuvre une technique de détection multiutilisateur, selon laquelle les différents codes d'étalement des multiples utilisateurs sont connus du récepteur, la même technique d'égalisation est avantageusement également utilisée dans une étape d'annulation de l'interférence due aux autres canaux que celui traité.

Dans ce cas, ladite étape d'annulation peut être itérative, et comprendre au moins deux étages d'égalisation successifs.

L'invention concerne également le procédé d'égalisation mis en œuvre dans le procédé de réception décrit ci-dessus, ainsi que les dispositifs de réception mettant en œuvre ces procédés.

5. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1 présente un synoptique général d'une chaîne de transmission et de réception MC-CDMA, de type connu ;
- la figure 2 illustre un synoptique général d'une chaîne de transmission et de réception MC-CDMA selon l'invention ;
- la figure 3 est une comparaison des performances de différentes techniques

de détection.

6. Description d'un mode de réalisation préférentiel

6.1 La nouvelle technique de détection proposée (le MMSE matriciel)

Cette nouvelle technique de détection a donc pour but de minimiser l'erreur quadratique moyenne globalement sur l'ensemble du signal reçu. Si on appelle $W_j = [w_j^0, w_j^1, \dots, w_j^{Np}]$ le vecteur de pondération optimal, le symbole restitué au j^{me} utilisateur peut s'écrire :

$$\hat{x}_j = W_j^T \cdot R = C_j^T \cdot G \cdot R \quad (10)$$

Selon le filtrage de Wiener, le vecteur de pondération optimal est égal à :

$$W_j = \Gamma_{R,R}^{-1} \cdot \Gamma_{R,x_j} \quad (11)$$

où $\Gamma_{R,R}$ est la matrice d'autocorrélation du vecteur R reçu et Γ_{R,x_j} est le vecteur d'intercorrélation entre le symbole, x_j et le vecteur du signal reçu, R . Ces quantités sont égales à :

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{R,R} &= E\{R^* \cdot R^T\} = H^* \cdot C \cdot E\{X^* \cdot X^T\} \cdot C^T \cdot H + E\{N^* \cdot N^T\} \\ \tilde{A}_{R,x_j} &= E\{R^* \cdot x_j\} = H^* \cdot C \cdot E\{X^* \cdot x_j\} \end{aligned} \quad (12)$$

où ()^{*} signifie complexe conjugué. Le vecteur de pondération optimal est alors égal à :

$$W_j^T = E\{x_j \cdot X^{*T}\} \cdot C^T \cdot H^* \cdot (H \cdot C \cdot E\{X \cdot X^{*T}\} \cdot C^T \cdot H^* + E\{N \cdot N^{*T}\})^{-1} \quad (13)$$

Si les différents bruits affectant les sous-porteuses ont la même variance et sont indépendants, alors $E\{N \cdot N^{*T}\} = \sigma_N^2 \cdot I$ où I est la matrice identité. Si les différents signaux des utilisateurs ont la même puissance ($E\{x_j^2\} = E_s$) et sont indépendants, on peut écrire que $E\{X \cdot X^{*T}\} = E_s \cdot A$, où $A = \{a_{ij}\}$ est une matrice diagonale avec $a_{jj} = 1$ si l'utilisateur j est actif et $a_{jj} = 0$ si l'utilisateur j est inactif. La matrice des coefficients d'égalisation est alors égale à :

$$\mathbf{G} = \mathbf{H}^* \left(\mathbf{H} \mathbf{C} \mathbf{A} \mathbf{C}^T \mathbf{H}^* + \frac{\sigma_N^2}{E_s} \mathbf{I} \right)^{-1} \quad (14)$$

Bien sûr, les conditions citées dans le paragraphe précédent sur la variance et l'indépendance des bruits affectant les différentes sous-porteuses d'une part et sur la puissance des signaux ne sont absolument pas nécessaires pour valider l'approche.

Dans le cas de la pleine charge ($N_u = L_c$), la quantité $\mathbf{C} \mathbf{A} \mathbf{C}^T$ est égale à la matrice identité et la matrice \mathbf{G} des coefficients d'égalisation est alors une matrice diagonale avec le coefficient d'égalisation de la k^{me} sous-porteuse égal à l'expression (8) donnée dans le paragraphe précédent.

En revanche, dans tous les cas où $N_u < L_c$, avec $N_u \neq 1$, la quantité $\mathbf{C} \mathbf{A} \mathbf{C}^T$ n'est pas une matrice identité et la matrice \mathbf{G} des coefficients d'égalisation n'est pas une matrice diagonale. Le récepteur proposé est alors conforme au schéma de la figure 2.

La matrice \mathbf{G} est une matrice de dimension $N_p \times N_p$. La méthode proposée consiste donc non pas à multiplier chaque symbole généré en sortie de la FFT par un coefficient propre à chaque sous-porteuse, mais à traiter le vecteur signal \mathbf{R} dans sa globalité conformément au calcul précédent en le multipliant par la matrice \mathbf{G} .

6.2 Application aux techniques de détection multiutilisateurs

Ces techniques de détection s'appuient sur l'hypothèse importante que les différents codes d'étalement des multiples utilisateurs sont connus du récepteur. Il existe principalement deux grandes catégories de détecteurs : les détecteurs à maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood Detectors MLD) et les détecteurs à annulation d'interférences.

Les détecteurs à annulation d'interférence de type parallèle ou série cherchent à estimer l'interférence due aux autres signaux afin de retrancher cette interférence multi-utilisateur du signal reçu. Ce procédé peut être mis en œuvre de façon itérative, à l'aide de plusieurs étages de détection successifs. Différentes techniques de détection peuvent ainsi être combinées dans les différents étages. Le nouveau

procédé proposé pour la mise en œuvre de l'algorithme de détection MMSE peut être choisi à chaque étage d'un détecteur multi-utilisateur à annulation d'interférences. Dans ce cas, la matrice \mathbf{A} de l'équation (14) doit être optimisée de façon spécifique à chaque étage.

6.3 Exemple de résultats

Les résultats présentés sont obtenus avec des processus de Rayleigh indépendants et de même puissance sur chaque sous-porteuse, le canal étant considéré non sélectif en fréquence sur chacune de ces sous-porteuses. Le bruit blanc additif gaussien est aussi généré par des processus de même puissance et indépendants pour chaque sous-porteuse. Les codes utilisés sont de Walsh-Hadamard et le codage binaire à signal est celui d'une MDP4.

La figure 3 présente les performances de différentes techniques de détection mono-utilisateurs avec $L_c = N_p = 64$ en prenant en compte l'efficacité spectrale en fonction du rapport E_b/N_0 nécessaire pour obtenir un $TEB = 10^{-3}$. L'efficacité spectrale maximum est égale à 2 bit/s/Hz, correspondant à un système à pleine charge ($N_u = L_c = N_p$), car les pertes dues à l'intervalle de garde, la synchronisation et l'estimation de canal (porteuses pilotes par exemple) ne sont pas prises en compte.

La courbe (b) donne les performances du système MMSE traditionnel avec les coefficients d'égalisation optimisés indépendamment sur chaque sous-porteuse conformément à l'expression (9) à raison d'un coefficient par sous-porteuse. La courbe (a) correspond aux performances du nouveau système MMSE utilisant l'approche matricielle avec les coefficients de la matrice d'égalisation donnés par l'expression (14). A pleine charge ($N_u = 64$), les performances des deux systèmes MMSE sont identiques. En revanche, lorsque le système n'est pas à pleine charge ($N_u < 64$), le nouveau système MMSE matriciel offre un gain d'environ 2 dB pour $N_u = 32$ et 16, ce qui correspond à une efficacité spectrale respectivement égale à 1 et 0.5 bit/s/Hz.

Références :

[1] S. Hara, R. Prasad, "Overview of multicarrier CDMA"; IEEE Communications

Magazine, December 1997, pp 126-133.

- [2] S. Kaiser, "Analytical performance evaluation of OFDM-CDMA mobile radio systems", Proceedings First European Personal and Mobile Communications Conference (EPMCC'95), Bologna, Italy, November 1995, p 215-220.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réception d'un signal mettant en œuvre une modulation à porteuses multiples et à accès multiple par répartition de codes, du type comprenant une étape de démodulation par application d'une transformation mathématique du domaine temporel vers le domaine fréquentiel, une étape d'égalisation du signal transformé et une étape de désétalement du signal égalisé, caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation tient compte, pour chacune des composantes dudit signal transformé, des perturbations affectant la porteuse portant ladite composante et au moins une autre desdites porteuses.
2. Procédé de réception selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape d'égalisation met en œuvre une matrice d'égalisation portant des coefficients d'égalisation représentatifs du canal de transmission, au moins certains des coefficients autres que les coefficients de la diagonale de la matrice étant parfois non nuls.
3. Procédé de réception selon la revendication 2, caractérisé en ce que les coefficients ladite matrice de pondération sont déterminés selon la technique de filtrage de Wiener.
4. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, du type mettant en œuvre une technique de détection multiutilisateur, selon laquelle les différents codes d'étalement des multiples utilisateurs sont connus du récepteur, caractérisé en ce que la même technique d'égalisation est également utilisée dans une étape d'annulation de l'interférence due aux autres canaux que celui traité.
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite étape d'annulation est itérative, et comprend au moins deux étages d'égalisation successifs.
6. Procédé d'égalisation mis en œuvre dans le procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.
7. Dispositif de réception mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

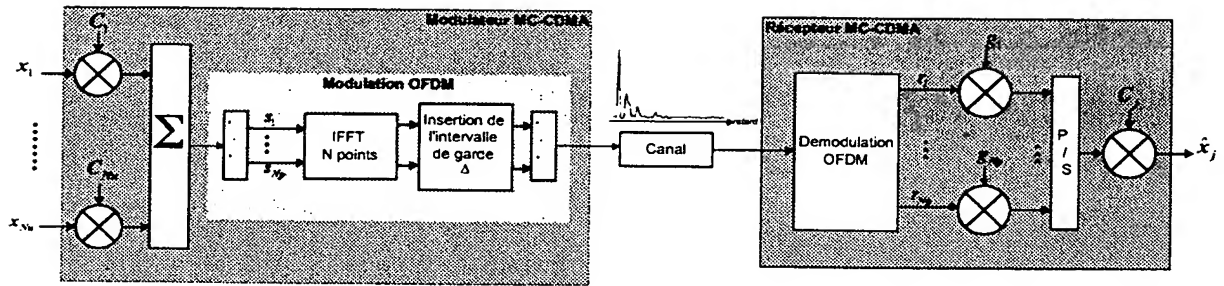


Fig. 1

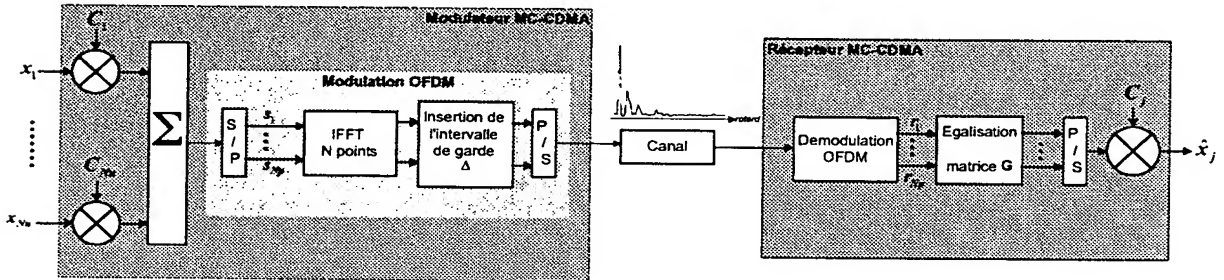


Fig. 2

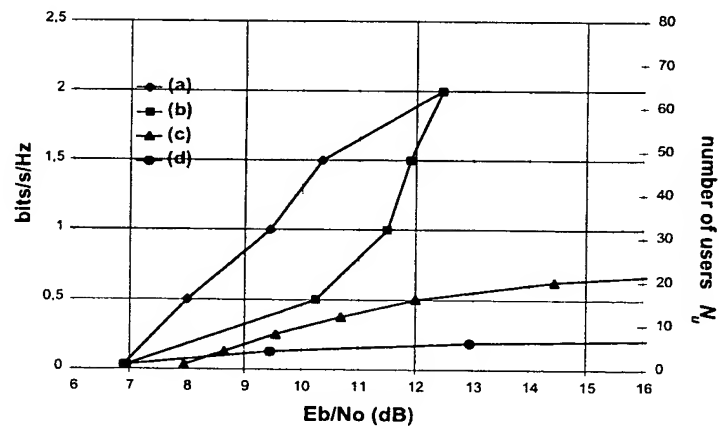


Fig. 3

1. The first part of the report is a general introduction to the subject of the study. It discusses the importance of the study and the objectives of the research. It also provides a brief overview of the methodology used in the study.

2. Methodology

The methodology used in this study is a combination of qualitative and quantitative methods. The qualitative methods include interviews with experts in the field and a review of the literature. The quantitative methods include a survey of a large number of respondents. The data collected from these methods are analyzed using statistical techniques.

3. Results

The results of the study show that there is a significant correlation between the variables studied. The data indicates that the relationship between the variables is positive and significant. The findings suggest that the variables studied are closely related and that the relationship is not due to chance.

4. Conclusion

The conclusion of the study is that the variables studied are significantly correlated. The findings suggest that the relationship between the variables is positive and significant. The study has provided valuable insights into the relationship between the variables and has identified areas for further research.

1941

1942

1943

1944

1945

1946

1947

1948

1949

1950

1951

1952

1953

1954

1955

1956

1957

1958

1959

1960

1961

1962

1963

1964

1965

1966

1967

1968

1969

1970

1971

1972

1973

1974

1975

1976

1977

1978

1979

1980

1981

1982

1983

1984

1985

1986

1987

1988

1989

1990

1991

1992

1993

1994

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

2029

2030

2031

2032

2033

2034

2035

2036

2037

2038

2039

2040

2041

2042

2043

2044

2045

2046

2047

2048

2049

2050

2051

2052

2053

2054

2055

2056

2057

2058

2059

2060

2061

2062

2063

2064

2065

2066

2067

2068

2069

2070

2071

2072

2073

2074

2075

2076

2077

2078

2079

2080

2081

2082

2083

2084

2085

2086

2087

2088

2089

2090

2091

2092

2093

2094

2095

2096

2097

2098

2099

2100

2101

2102

2103

2104

2105

2106

2107

2108

2109

2110

2111

2112

2113

2114

2115

2116

2117

2118

2119

2120

2121

2122

2123

2124

2125

2126

2127

2128

2129

2130

2131

2132

2133

2134

2135

2136

2137

2138

2139

2140

2141

2142

2143

2144

2145

2146

2147

2148

2149

2150

2151

2152

2153

2154

2155

2156

2157

2158

2159

2160

2161

2162

2163

2164

2165

2166

2167

2168

2169

2170

2171

2172

2173

2174

2175

2176

2177

2178

2179

2180

2181

2182

2183

2184

2185

2186

2187

2188

2189

2190

2191

2192

2193

2194

2195

2196

2197

2198

2199

2200

2201

2202

2203

2204

2205

2206

2207

2208

2209

2210

2211

2212

2213

2214

2215

2216

2217

2218

2219

2220

2221

2222

2223

2224

2225

2226

2227

2228

2229

2230

2231

2232

2233

2234

2235

2236

2237

2238

2239

2240

2241

2242

2243

2244

2245

2246

2247

2248

2249

2250

2251

2252

2253

2254

2255

2256

2257

2258

2259

2260